



Simulation des relations populations - ressources naturelles : prototype de modèle pour un terroir du Nord Cameroun

Bruno Barbier, Sandrine Dury, Jacques Weber

► To cite this version:

Bruno Barbier, Sandrine Dury, Jacques Weber. Simulation des relations populations - ressources naturelles : prototype de modèle pour un terroir du Nord Cameroun. Inconnu, 2003, 9 p. hal-00139460

HAL Id: hal-00139460

<https://hal.science/hal-00139460>

Submitted on 30 Mar 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Simulation des relations populations - ressources naturelles

Prototype de modèle pour un terroir du Nord-Cameroun

Bruno BARBIER*, Sandrine DURY**, Jacques WEBER***

*CIRAD, 73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

**CIRAD, BP 2572, Yaoundé, Cameroun

***CIRAD, 45 bis avenue de la Belle Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne Cedex, France

Résumé — Nous présentons ici un modèle qui permet de comparer l'impact de la croissance démographique sur la gestion des ressources naturelles dans un système agraire de savanes africaine. Le modèle montre comment une population en croissance consomme de plus en plus de ressources jusqu'à un certain seuil, en dessous duquel la productivité de ces ressources est affectée. Le modèle réagit alors en investissant dans des techniques de régénération des ressources. L'objectif principal est de comparer plusieurs techniques de restauration de la fertilité comme l'intégration agriculture élevage, l'agroforesterie ou le semis sous couverture végétale. Pour l'instant le modèle est à l'état de prototype. Le système agraire en question est imaginaire, mais nous avons appliqué des chiffres provenant de la littérature technique sur les cycles de matière organique ou de biomasse dans les zones de savane. Les résultats du modèle décrivent une courbe en U avec une phase de dégradation du stock initial et une phase de régénération. Le modèle suggère que le potentiel existe pour maintenir une agriculture durable en combinant plusieurs techniques de restauration. Toutefois il suggère aussi que des économies d'échelle sont nécessaires pour que la productivité du travail ne décline pas. En absence d'économie d'échelle il est probable qu'une fois les seuils de dégradation des ressources atteints, les populations migrent vers des zones moins peuplées.

Abstract — **Simulating the impact of population on natural resources. A proposed model for Northern Cameroon savannas.** In this document we present a simulation model, which allows assessing the impact of population pressure on natural resource management in African savannas. The model shows how a growing population consumes more resources until some thresholds are reached below which productivity is affected. The model reacts by investing in new techniques to restore soil fertility. The main objective is to compare different techniques such as crop-livestock integration, agroforestry or no tillage. The model is still a prototype. We applied parameters from technical literature over organic and biomass cycles. The modeled farming system does not exist. However the results illustrate the U curb hypothesis where an initial phase of degradation is replaced by a restoration phase. The model suggests that there is a potential for restoration of degraded agro-systems but that economies of scales might be required. Otherwise, farmers are more likely to emigrate when they reach the bottom of the U-curb.

Pression démographique et évolutions agraires

Les diagnostics sur l'agriculture du Nord-Cameroun dressent généralement un tableau relativement pessimiste des évolutions en cours : sous la pression croissante des populations, les écosystèmes seraient en voie de dégradation rapide. Les producteurs, en général peu réceptifs aux thèmes techniques promus par la vulgarisation, pratiqueraient une agriculture minière, dégraderaient les sols et épuiserait les ressources en bois alors que leurs troupeaux dégraderaient les pâturages. Ces différents déséquilibres conduiraient à un déficit alimentaire chronique, à des conflits et à des émigrations massives.

Toutefois, le Nord-Cameroun offre aussi des exemples remarquables d'adaptations réussies. Au cours des siècles, les paysans des monts Mandara ont développé, dans des écosystèmes austères, des systèmes de production très intensifs permettant des densités de plusieurs centaines d'habitants au kilomètre carré (Seignobos et Iyébi-Mandjek, 2000 ; Hallaire, 1992 ; Yana *et al.*, 1993 ; Gendreau *et al.*, 1991). Les producteurs ont mis en valeur des terres considérées jusque-là comme inutilisables : certains sols cuirassés, des sols hydromorphes de grandes plaines ou des bordures de grands cours d'eau. Dans les zones cotonnières, les producteurs ont adopté des systèmes de production intensifs et complexes utilisant les sols de manière relativement durable (Mianzé *et al.*, 1997). De même, la production d'oignons irrigués atteint plusieurs dizaines de milliers de tonnes pratiquement sans encadrement (Essang et Moustier, 1994 ; Moustier et Essang, 1997). En somme, la croissance démographique ne conduit pas fatalement à des crises de type malthusien. Les producteurs des savanes africaines montrent de grandes capacités d'adaptation et d'innovation. Toutefois, il est clair que les communautés réagissent quand la situation devient critique et c'est ce qui donne une certaine valeur prédictive aux modèles quantitatifs des relations populations-ressources.

Nous proposons ici une maquette d'un modèle qui quantifie, dans un espace donné, (terroir villageois, ensemble de village, bassin versant) les relations entre les stocks de ressources et la population. Dans un premier temps nous présentons notre hypothèse de travail dénommée la « courbe en U ». Deuxièmement, nous réalisons une brève revue de la littérature pour estimer s'il est possible de rassembler les données nécessaires et troisièmement nous présentons la méthode avec le logiciel de simulation *Simile*.

Une courbe en U

Nous souhaitons simuler la relation entre la population et la gestion des ressources naturelles. Selon les économistes optimistes, cette relation peut se décrire géométriquement par une courbe en U (figure 1). Cette hypothèse est partagée par beaucoup d'auteurs familiers des évolutions des systèmes agraires (Sherr et Hazell, 1994 ; Ruthenberg, 1980 ; Boserup, 1965 ; Tiffen *et al.*, 1994). La courbe représente dans sa phase descendante la dégradation de ressources sous la pression des défricheurs et dans sa phase ascendante la régénération des ressources par des populations sédentaires plus nombreuses forcées à prendre soin et à valoriser leur environnement pour produire plus. Les tenants de la courbe en U s'opposent à une description malthusienne des évolutions agraires selon laquelle la croissance démographique est plus rapide que la croissance de la production, induisant une dégradation des ressources naturelles et des déficits alimentaires plus ou moins graves.

L'abscisse de la courbe en U est la pression humaine ou la densité de population par unité de surface. Cette dernière peut être la surface totale, la surface cultivable ou la surface cultivée (Boissau, *et al.*, 1999). En ordonnée on met généralement la quantité de biomasse existante ou produite.

En Afrique, les densités de population étant généralement faibles, les scientifiques observent rarement la phase montante de la courbe en U si ce n'est dans les zones de montagnes comme en Ethiopie, au Burundi, au Rwanda ou au Nord-Cameroun. Le plus souvent, grâce à l'émigration, les sociétés africaines restent dans le creux de la courbe en U. Les producteurs confrontés à une baisse de productivité de leurs ressources ont tendance à migrer vers des zones moins peuplées où il reste des ressources à exploiter. Au cas où l'émigration n'est pas une option, la croissance démographique induit une certaine intensification et une meilleure conservation des ressources devenues rares voir une restauration de celles-ci. Sous climat des zones de savane, on observe souvent que le fond de la courbe en U est atteint autour de 60 habitants au kilomètre carré et que peu de zones rurales dépassent cette densité.

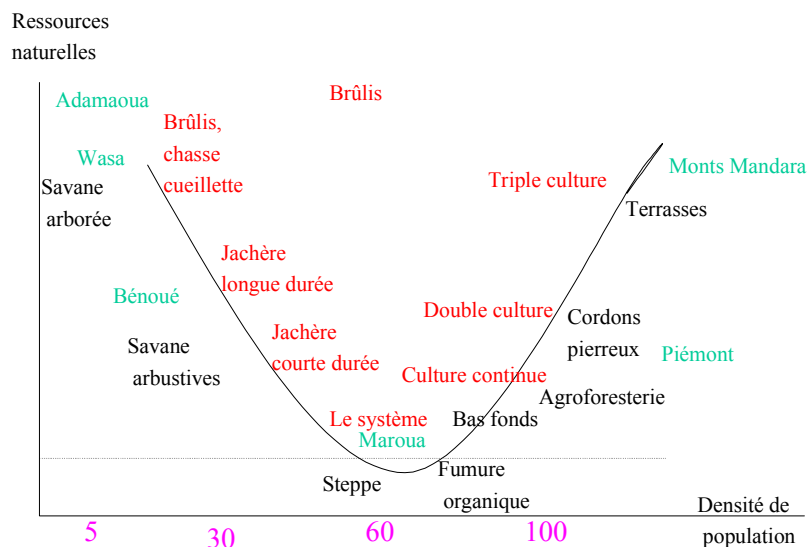


Figure 1. Pression démographique et ressources naturelles dans le Nord-Cameroun.

Le passage à l'intensification agricole, la phase montante de la courbe en U, n'induit pas forcément une meilleure productivité par travailleur. Pour que la densification de la population induise des gains de productivité par travailleur il faut qu'il y ait des économies d'échelle (Boserup, 1965 ; Lele, 1989). Par exemple, une population dense permet de réaliser des grands travaux (barrages, terrasses, routes) à moindre coût. Elle induit aussi une baisse des coûts des investissements de l'Etat (école, centre de santé). Elle induit aussi une spécialisation des métiers qui favorise à son tour les gains de productivité. Ce sont ces phénomènes que notre modèle va pouvoir simuler dans plusieurs terroirs du Nord-Cameroun.

Modéliser les systèmes agraires

Pour comprendre et épauler ces dynamiques d'intensification durable, il est nécessaire de comprendre les mécanismes en action et évaluer quelles sont les techniques qui permettent de maintenir ou restaurer l'état des ressources naturelles. Or, les systèmes agraires tropicaux sont complexes et les efforts de quantification encore partiels. Il existe un grand nombre d'études ciblées sur des aspects particuliers des systèmes agraires, mais il manque encore un modèle synthétique qui permette d'anticiper de manière satisfaisante le devenir de ces systèmes agraires. C'est pourquoi nous proposons un modèle dynamique qui simule simultanément l'évolution des stocks de ressources dans un système agricole.

De tels modèles ont déjà été appliqués en Afrique de l'Ouest, pour modéliser les interactions entre les agents, leurs activités et leurs ressources (Barbier et Benoît-Cattin, 1997 ; Barbier, 1998). Ce modèle pourrait être appliqué à plusieurs systèmes agraires représentatifs du Nord-Cameroun, ce qui permettrait d'appréhender les évolutions en cours et de proposer des options techniques et organisationnelles.

La gestion des ressources naturelles d'un système agricole africain

Les ressources naturelles utilisées par les producteurs dans les terroirs des zones de savane sont le sol, le bois, les pâturages, l'eau, les animaux et les végétaux. Ce sont des ressources renouvelables qui évoluent en fonction de leur capacité de régénération naturelle, leur dégradation « naturelle », les prélèvements humains et les restitutions humaines. Généralement, elles peuvent se régénérer sans intervention des producteurs quand elles ne sont pas exploitées au-delà de certains seuils. Or, quand la population double tous les 20 ou 30 ans, ces seuils sont rapidement atteints. Au Nord-Cameroun la croissance démographique dans les zones rurales est encore très élevée (entre 2 et 3 % par an). Le moteur du modèle est la croissance démographique. Elle induit en effet une croissance des surfaces cultivées et inversement une réduction des jachères, des parcours et autres zones non cultivées.

Dans le Nord-Cameroun, les cultures dominantes sont les céréales : le mil en zone sahélienne, puis le sorgho en zone soudanienne et le maïs plus au sud (Dirasset-Badang-ITSD-URED-S-CIBLE, 2000). Les céréales sont la base de l'alimentation mais aussi des échanges entre villes et campagnes. Dans le Nord-Cameroun le sorgho est la première source d'alimentation.

La matière organique

Pour de nombreux agronomes, la ressource naturelle de base des écosystèmes de savane est la matière organique (MO) et plus particulièrement la MO du sol (MOS), qui est considérée comme l'un des meilleurs indicateurs de la fertilité (Piéri, 1989). Un sol appauvri en MO possède une moindre capacité d'échange, moins d'éléments nutritifs, une structure moins stable et une vie biologique moins active. A l'inverse, un apport adéquat de MO restaure les sols en tant qu'interface entre le milieu et la plante et permet une meilleure production végétale. Les agronomes utilisent souvent le solde annuel du bilan de MO d'une parcelle, d'une exploitation, voire d'un terroir pour évaluer la durabilité de ce terroir.

Un prototype de modèle

Nous avons élaboré avec le logiciel *Simile* un prototype de modèle dynamique qui met en relation les stocks et les flux et les fait évoluer simultanément par itérations en spécifiant les interactions entre ressources et entre flux. Dans ce prototype simplifié, les stocks sont la population (POP) et trois ressources : les stocks de céréales (STOCK), la MOS sous culture (MOS) et la MOS sous jachère (MOJA).

La population croît d'année en année (t) à un taux (c). Ce taux peut varier avec le temps en fonction des prévisions des démographes. Une partie de la population peut aussi émigrer (EMIG) si la production par habitant descend sous un certain seuil.

$$POP_{t+1} = (1 + c) \cdot POP_t - EMIG_{t+1}$$

Dans un système agraire les stocks de céréales de la fin d'une année sont les stocks initiaux plus la production moins la consommation.

$$STOCK_{t+1} = TPROD_t - cons \cdot POP_{t+1} + STOCK_t$$

La production de céréales du village correspond au rendement potentiel multiplié par la surface en céréales moins le déficit en MO multiplié par l'impact de chaque tonne de déficit en MO sur le rendement en céréale.

$$TPROD_{c,t} = rdmt_{c,t} \cdot X_{c,t} - imp_c \cdot DEF_{c,t}$$

Le stock de MOS du système agraire de la fin de l'année correspond au stock initial multiplié par 1 moins le taux de minéralisation plus les apports de MO (INVEST). A cela on ajoute le stock MOS apporté par les jachères mises en culture dans l'année (NX) et on retranche le stock de MOS des surfaces mises en jachères (NJ). Les ratios MOSJA/J correspondent à la MOS totale des jachères, divisée par la surface en jachère. Le calcul est similaire pour le transfert de MO des surfaces mises en jachère.

$$MOS_{t+1} = (1 - min) \cdot MOS_t + INVEST_t + MOSJA_t / J_t \cdot NX_t - MOS_t / X_t \cdot NJ_t$$

Si, suite à la minéralisation de la MOS, le stock de MOS descend en dessous d'un seuil donné, la variable déficit prend une valeur.

$$MO_{t+1} \geq seuil \cdot X_t - DEF_t$$

La production de céréales du village correspond au rendement potentiel multiplié par la surface en céréales moins le déficit en MO multiplié par l'impact de chaque tonne de déficit en MO sur le rendement en céréale.

$$TPROD_t = rdmt_t \cdot X_t - imp \cdot DEF_t$$

Le mode de régénération traditionnel des sols est la mise en jachère. Nous considérons donc aussi la MO dans les sols de jachères. La MOS de la jachère augmente à un taux (reg).

$$MOSJA_{t+1} = (1 + reg) \cdot MOSJA_t + MOS_t / X_t \cdot NJ_t - MOSJA_t / J_t \cdot NX_t$$

Ce modèle doit encore tenir compte des changements de surface entre les cultures et la jachère. La surface finale en culture égale la surface initiale en culture plus la nouvelle surface en cultures (NX) moins la surface laissée en jachère (NJ).

$$X_{t+1} = X_t + NX_t - NJ_t$$

Bien sûr la surface en culture plus la surface en jachère égale la surface cultivable (a).

$$X_t + J_t = a$$

Dans les terroirs africains une grande partie des transferts de MO sont réalisés par les animaux. Le stock d'animaux en tonnes en fin d'année correspond au stock d'animaux en début d'année multiplié par un taux de croissance moins les animaux vendus en cours d'année.

$$A_t = n \cdot A_{t-1} - VA$$

Ces animaux doivent être nourris par les résidus de culture et par les fourrages issus des jachères. Si le modèle ne peut plus les nourrir, une partie des animaux sera vendue.

$$ca \cdot A_t \pi_{fx} \cdot X + fa \cdot J$$

Le modèle peut être complété par un stock d'argent qui augmente ou diminue en relation avec les activités et la consommation de la population. On peut alors estimer un seuil de revenu par habitant et un autre de céréales par habitant en dessous duquel une partie de la population émigre.

Concernant les économies d'échelle, on peut également introduire des seuils au delà desquels il sera possible de construire des infrastructure (barrage, route) qui augmenteront la productivité.

Les données disponibles pour les zones de savane

Parmi les écosystèmes de la planète, les écosystèmes de savane sont relativement plus homogènes. Nous plaçons ici dans un climat soudanien sur un sol ferrugineux, qui est le sol le plus répandu au Nord-Cameroun avec les sols peu évolués et les sols hydromorphes. Nous pouvons ainsi utiliser des paramètres obtenus dans des zones très éloignées mais sous un climat et dans des sols similaires.

La minéralisation de la matière organique

Les chiffres sont repris de synthèses sur la fertilité des sols de savane (Piéri, 1989 ; Lavigne Delville, 1996). Dans une jachère de longue durée la MOS représente plusieurs dizaines de t/ha. Prenons un sol avec 30 t/ha de MOS, soit 1 % de MOS pour une densité de 1,6 t/m³ et 20 cm de profondeur. Sous culture on estime le taux de minéralisation à 2 % par an, soit 600 kg/ha de MO par an. La comparaison de certains essais agronomiques de station suggère qu'il existe un seuil critique de la fertilité des sols autour de 0,6 % de MOS, soit environ 18 t/ha. Sans restitution organique ou minérale, on passe de 30 t/ha à 18 t/ha au bout de 15 ou 20 ans de culture continue.

La matière organique du sol et les rendements

La relation entre la teneur en MOS et les rendements des cultures n'est pas directe (Piéri, 1989). Il est difficile de séparer l'effet de différents facteurs sur le rendement. Premièrement les pluies et les ravageurs tendent à masquer l'effet de la baisse de la fertilité. Deuxièmement la prolifération des mauvaises herbes dans les parcelles cultivées joue aussi un rôle dans la productivité d'une parcelle. Même sans restitution organique ou minérale, la baisse de rendement est lente et cette baisse n'est pas proportionnelle à la baisse de MOS. En milieu réel, les producteurs abandonnent les champs avant que les sols ne soient

réellement dégradés. Ils abandonnent le plus souvent une parcelle à cause de la multiplication des mauvaises herbes et non pas à cause de la baisse de fertilité chimique ou organique qui joue un rôle plus tard. En milieu réel, on observe d'ailleurs peu de parcelles cultivées depuis plus de 20 ans. Celles qui le sont reçoivent des fertilisants ou sont situées près des cases où elles reçoivent des déchets ménagers.

Toutefois, quel que soit le niveau exact de ce seuil, il y en a un en dessous duquel la culture n'est plus possible. Les producteurs doivent alors fertiliser leurs parcelles ou les abandonner. En l'absence de chiffres, il faut faire des hypothèses de forte chute de rendement en-dessous de certains seuils de MO.

La mise en jachère et les apports de matière organique

La méthode traditionnelle de maintien de la fertilité consiste à retourner à la jachère les parcelles épuisées par la culture. Les jachères de courte durée restaurent peu, par contre les jachères arbustives ou arborées restituent une masse plus importante de MOS (César, 1990). Quand les jachères se font rares les producteurs doivent maintenir le taux de MOS par des apports extérieurs. On pense aux apports de fumiers sous différentes formes, à l'agroforesterie, aux légumineuses, aux plantes de couverture, aux jachères améliorées, au mulch, aux rotations ou aux engrais chimiques. La plupart de ces méthodes de maintien ou de régénération de MOS ont été testées dans le Nord-Cameroun. Des paramètres sont disponibles pour les entrer dans le modèle *Simile*.

La recherche a effectué des travaux sur la gestion des ressources naturelles dans de nombreux terroirs du Nord-Cameroun (Dugué, 2000). Deux terroirs ont en particulier fait l'objet de recherches poussées sur les flux de biomasse et pourraient être modélisés rapidement.

Le modèle doit ensuite être validé c'est-à-dire se comporter de manière similaire à ce que les scientifiques et les habitants des systèmes agraires décrivent. Si le modèle produit des résultats différents il faudra alors comprendre ce qui explique la différence et modifier le modèle en conséquence. Cet aller-retour entre le modèle et le terrain est indispensable pour produire des résultats crédibles.

Le modèle de simulation *Simile*

Simile est un logiciel destiné à simuler l'évolution de plusieurs stocks dans le temps (figure 2). Il n'est pas destiné à simuler des agents au sein d'une grille comme le permet facilement *Cormas* bien qu'il permette de distinguer des éléments spatiaux d'un territoire et de les faire interagir. Il n'a pas non plus de module permettant d'optimiser une fonction. *Simile* est disponible sur l'internet gratuitement à l'adresse suivante <http://www.ierm.ed.ac.uk/simile>. Le logiciel est très intuitif et permet rapidement de construire des modèles simulant la dynamique de systèmes biologiques.

Le modèle dynamique simule par itération le devenir des différents stocks de ressources naturelles en fonction des équations qui décrivent les relations entre les stocks et les variables. Les résultats des simulations des différents stocks sont visibles en temps réel. Il s'agit d'un outil très convivial qui permet de modifier les alternatives avec les intéressés à savoir les chercheurs, les techniciens et les populations.

Les premiers résultats présentés dans les graphiques de la figure 3 illustrent l'évolution des ressources du système agraire sur plusieurs dizaines d'années. Dans ce scénario, nous avons fait augmenter la population selon les hypothèses de la théorie de la transition démographique qui stipule que la population devrait se stabiliser au milieu du XXI^e siècle. Nous avons pris les prévisions de l'UNDP pour les pays Ouest africains. La population croissant induit une extension proportionnelle des surfaces et une réduction de la MO des sols cultivés. Le rendement en est affecté mais le modèle réagit permettant d'appliquer du fumier. La situation se stabilise et la quantité totale de MOS augmente comme dans la courbe en U.

Le présent prototype a été alimenté par des paramètres obtenus dans la littérature. Toutefois, il n'a pas été validé dans un terroir réel. Il faudra encore le compléter avec d'autres données issues de la littérature et au travers d'enquêtes complémentaires sur le terrain.

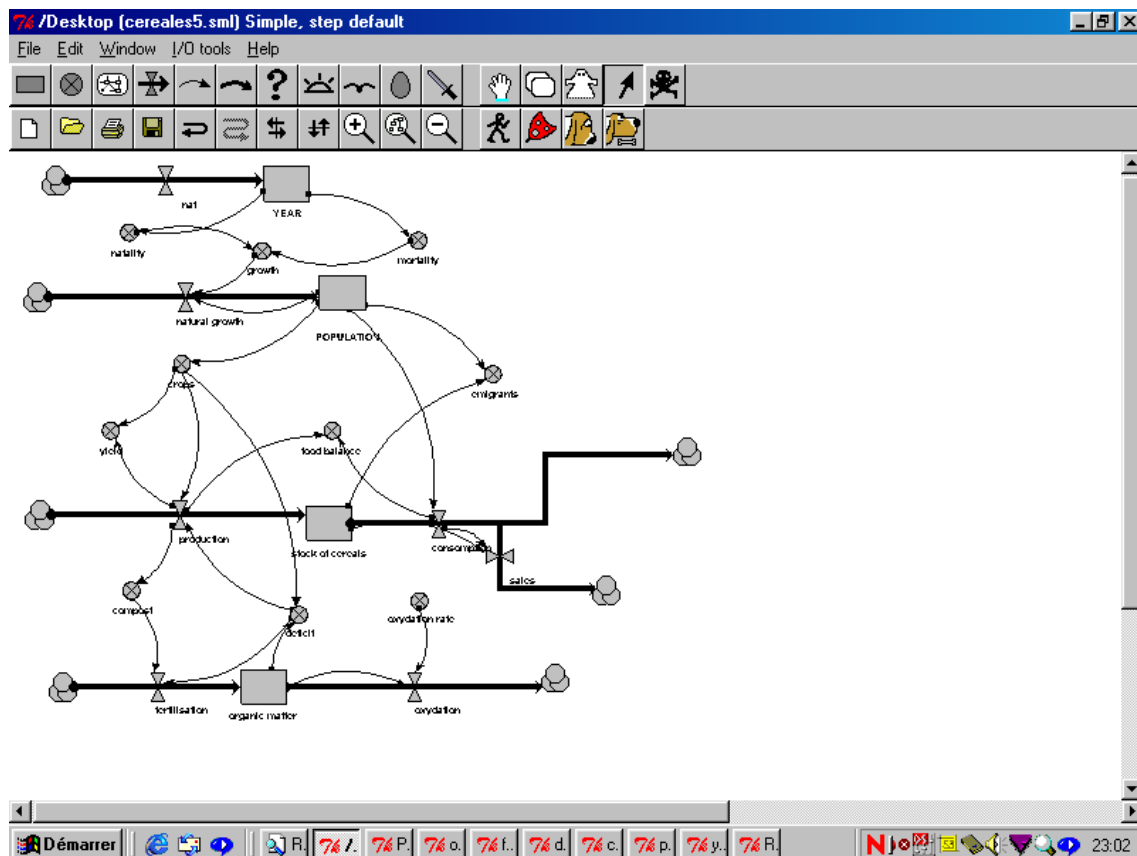


Figure2. Interface de *Simile*.

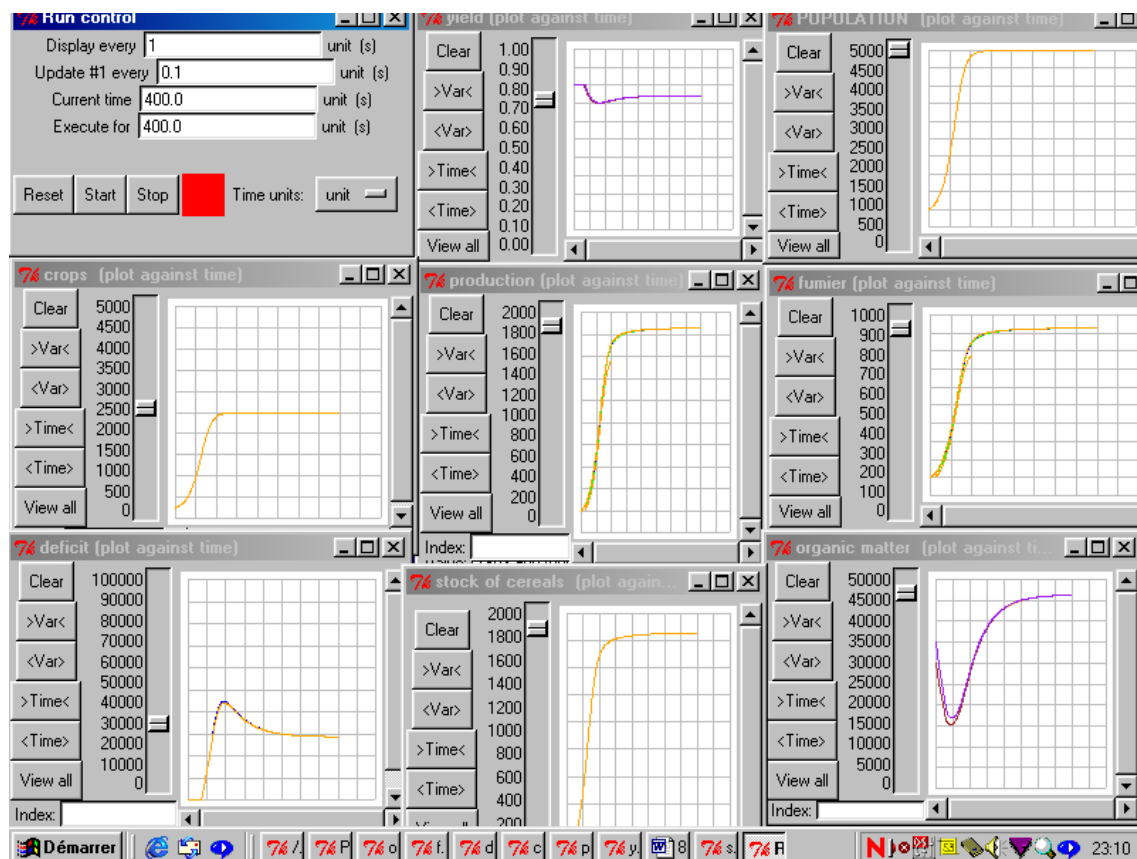


Figure 3. Graphiques de résultats dans *Simile*.

Conclusion

Le modèle de simulation *Simile* permet de quantifier les ressources et les flux de ressources dans un espace donné et d'observer l'évolution de ces ressources dans le temps. Il ne s'agit pas de prédictions, dans la mesure où certains facteurs comme les migrations dépendent souvent plus de ce qui se passe dans les zones d'immigration. Il s'agit de simulations qui permettent de mettre en concurrence différentes techniques, différentes stratégies ou même différentes politiques.

Dans le Nord-Cameroun il existe plusieurs terroirs où la recherche a accumulé une masse de données précieuses qui gagneraient en signification si elles étaient placées dans un contexte dynamique. Les simulations permettraient de mieux mettre en cohérence les résultats de la recherche dans le Grand-Nord et de mesurer l'intérêt des différentes options de développement actuellement en compétition.

Bibliographie

BARBIER B., 1998. Induced innovation and market pressure on natural induced innovation and land degradation. Results from a bioeconomic model of a village in West Africa. *Agricultural Economics* 19, 1-2.

BARBIER B., BENOIT-CATTIN M., 1997. Viabilité d'un système agraire. *Economie Rurale*, 239.

BOSERUP E., 1965. The conditions of agricultural growth. The economics of agrarian change under population pressure. New York, Allen and Uwin.

DIRASSET B., 2000. Etudes socio-économiques régionales au Cameroun. Eradication de la pauvreté. Amélioration des données sociales. Province du Nord. Yaoundé, Ministère des investissements publics et de l'aménagement du territoire.

DUGUE P., 2000. Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs. Etude de cas au Nord-Cameroun et essai de généralisation aux zones de savane d'Afrique Subsaharienne. Fertilité et relations agriculture-élevage en zone de savane, Montpellier, France, CIRAD.

ESSANG T., MOUSTIER P., 1994. L'étude de la filière légumes au Cameroun. Réunion Annuelle CIRAD-FLHOR ; Productions Horticoles, Montpellier, CIRAD.

GENDREAU F., MEILLASSOUX C., SCHLEMMER B., VERLET M., 1991. Les spectres de Malthus. Déséquilibres alimentaires, déséquilibres démographiques, Paris, EDI-ORSTOM-CEPED.

HALLAIRE, A., 1992. Les montagnards du Nord du Cameroun et leur environnement. *L'environnement en Afrique Contemporaine* 161 : 144-155.

LAVIGNE DELVILLE P., 1996. Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel. Diagnostic et conseil aux paysans. Paris, Ministère de la coopération.

LELE U., 1989. Population pressure, the environment and agricultural intensification: variations on the Boserup hypothesis. Washington D.C., World Bank.

MIANZE T., FOLLIN J.-C., KLASSOU C., EKORONG J., NIBOUCHE S., BACHELIER B., 1997. Evolutions techniques et économiques de la filière cotonnière. Compte rendu des discussions du groupe de travail III. *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale*. Seiny Boukar L. (ed.), Faure G. (ed.). Montpellier, CIRAD-CA, p. 437-439.

MOUSTIER P., ESSANG T., 1997. Le maraîchage : un diagnostic agro-économique. *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale*, Garoua, CIRAD-CA.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente années de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Paris, Ministère de la coopération.

RUTHENBERG, 1980. *Farming systems in the tropics*. Oxford, Oxford University Press.

SEIGNOBOS C., IYEBI-MANDJEK O., 2000. Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun. Paris, MINREST, Ministère de la recherche scientifique et technique.

SHERR S., HAZELL P., 1994. Sustainable agricultural development strategies in fragile lands. EPTD discussion paper 1.

TIFFEN M., MORTIMORE M., GICHOUKI F., 1994. More people, less erosion: environmental recovery in Kenya. London, Wylie and Sons.

YANA S.D., WAUTELET J.M., KELODJOUÉ S., 1993. Pression démographique et production alimentaire : l'exemple de trois régions du Cameroun. Les spectres de Malthus. Déséquilibres alimentaires, déséquilibres démographiques. Paris, EDI-ORSTOM-CEPED.